

ウェイト・トレーニングにおける負荷簡易推定法に関する研究

——相対負荷, 最大反復回数, 所要時間の関係について——

木場本弘治*・岸田 謙 二**・甲斐知彦***

(平成 2 年 5 月 8 日受付, 平成 2 年 7 月 17 日受理)

A Simplified Method of Estimating Load Values for Weight Training

—An Examination of the Relationships between Relative Load, Maximum Number of Repetitions, and Time Required for a Single Repetition—

Hiroji KIBAMOTO, Kenji KISHIDA and Tomohiko KAI

In order to find a simple yet rational method of estimating the load to be prescribed for weight exercise, we investigated the relationships between relative load, repetition maximum and the time required for a single repetition.

The MVC for thirteen male students from NCPE majoring in physical education was measured for military press, lat row, shoulder raise, seated chest press, leg press, squat, leg extension and leg curl. Students then performed these exercises at their own pace with relative loads of 90%, 80%, 70%, 60%, 50% of maximum. We examined the relationship between relative load and repetition maximum, relative load and time required for a single repetition, repetition maximum and time required for a single repetition, using the quadric regression curve to obtain the approximate value. Analysis showed that the relationships between repetition maximum and the time required for one repetition displayed a quadric regression curve and extreme minimum values existed. These extreme minimum values are important in estimating MVC and appropriate repetition tempos.

1. 目 的

ウェイト・トレーニングを行う場合, トレーニング負荷として動的最大筋力に対する相対的負荷を設定してから行うのが一般的方法である。しかし, 初心者が動的最大筋力を測定する場合には, 各種目の重量が重いためよいフォームで遂行することができない, あるいは関節や筋, 靱帯などに過度な負荷が急に加わるため傷害の危険が高くなるなどの困難を伴うことが多い。従って初心者が動的最大筋力を正確に測定するには, フォームの修得などにかかる日時が必要となる。

ウェイト・トレーニングの負荷を決めるには比較的軽い任意の負荷重量でその反復回数から動的最大筋力を推定し, その値からトレーニング重量を算出することがで

きる⁹⁾。金子ら¹⁾は, 任意の重さで反復のテンポを 2 秒に 1 回に規定して, 最大反復回数 (RM: Repetition Maximum) を求め, 重さと最大反復回数との関係から動的最大筋力を推定し, その値から相対負荷を求めている。また, 猪飼ら²⁾は, 作業リズムと負荷によって持ち上げ回数が変わるといっている。また任意の重量が軽くなると最大反復回数において個人差が多くなるといっている¹⁾。実際のトレーニング場面においては, 任意の重量が重い場合, 最大反復回数と重さとの関係を適用すると, 正確な動的最大筋力 (MVC) が推定できるが, フルスクワットやベンチプレスなどの種目によっては 2 秒に 1 回のテンポで反復することが不可能なものもある。

我々は, 動的最大筋力に対する任意の相対負荷を用い

* 日本体育大学トレーニング方法研究室

** 日本体育大学スポーツトレーニングセンター

*** 日本体育大学大学院

反復テンポについては時間で規定しないで反復の継続を一定のテンポに保つように心掛けさせて、その最大反復回数を基にして動的最大筋力を推定することを最終の目的としている。本研究はその最初のステップとして、被検者それぞれが施行しやすいテンポで疲労するまで荷重の反復を継続した際の相対負荷に対する最大反復回数、1 回反復所要時間を調べた。これは初心者者の動的最大筋力荷重を安全且つ簡便に推測するための指針となるであろう。

2. 方 法

(1) 被検者

被検者は日本体育大学体育学部男子学生 13 名、その内訳は、ウエイトリフティング部員 4 名、ゴルフ部員 4 名、非運動部員 5 名である。なお、ゴルフ部員、非運動部員いずれも動的最大筋力を測定するために準備期間を設けてトレーニング種目を正しく行えるように訓練した部員である。年齢は 19.5 ± 0.93 歳、身長は 171.79 ± 6.67 cm、体重は 70.50 ± 8.62 kg であった。

(2) 測定条件

測定は日本体育大学トレーニングセンター及びコンディショニングセンター代々木トレーニング室で行い、測定期間は 1989 年 11 月 3 日～15 日であった。

(3) トレーニング機械

測定実験に用いたトレーニング機械は米国カイザー社製カイザー K-300 である。負荷は圧縮空気を用いた可変抵抗負荷で負荷の増減は 1 kg 単位で調整できるものを用いた。測定で実施したトレーニング種目は肩腕部の運動としてミリタリープレス、シーテッドチェストプレス、ショルダーレイズ、アッパーバックの 4 種目、下肢の運動としてレッグエクステンション、レッグカール、スクワット、レッグプレスの 4 種目であり、合計 8 種類のトレーニング機械を用いた。また、トレーニング機械

は各種目ごとに被検者の体格に合わせて最適姿勢で運動ができるよう座席及び背当ての調整をした。

(4) 測定手順

最初に動的最大筋力の測定を行った。その測定方法は任意の重量を 2 回反復させ、その都度負荷重量を適度に増加しつつ施行を繰り返し、1 回のみの挙上となった負荷重量を動的最大筋力として採用した。

次に動的最大筋力から 90%、80%、70%、60%、50% の相対負荷を算出し、各相対負荷の最大反復回数及び総所要時間の測定を行った。測定は 1 日 2 種目までとし、身体同一部位を重ねて使う種目は避けた。各種目の相対負荷における測定順序は、90%、80%、70%、60%、50% の順であった。各測定のインターバルは十分に休養をとり疲労感が取り除かれたと感じるまでの時間、およそ 15 分をあてた。挙上テンポは各人の施行しやすいテンポに任せ、その反復のテンポは一定に保つように指示した。

各相対負荷での運動を記録するために、ビデオカメラ (National Macload Movie 350) を三脚に固定し全種目の運動を収録した。収録したビデオテープ内に 1/100 秒単位の時間を挿入した。モニターテレビを通して再生したビデオから各々の相対負荷での最大反復回数と所要時間を求めた。最大反復回数のカウントは、反復挙上している速さが一定に保たれている間の回数とした。所要時間は、最大反復回数に要した時間を 1/10 秒単位まで測り、最大反復回数で総所要時間を除した値を 1 回の挙上所要時間として求め、これらの値をデータ処理に際し採用した。データ処理はコンピューター (NEC・PC 9801 VX) を用い、データ処理プログラムの式は二次回帰曲線式を用いた。

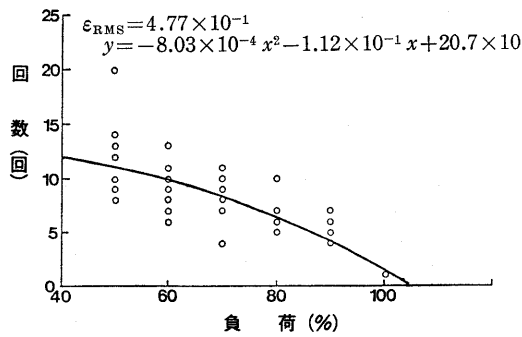
3. 結 果

動的最大筋力から得られた各相対負荷 (90%、80%、70%、60%、50%) において反復挙上させたときの、相

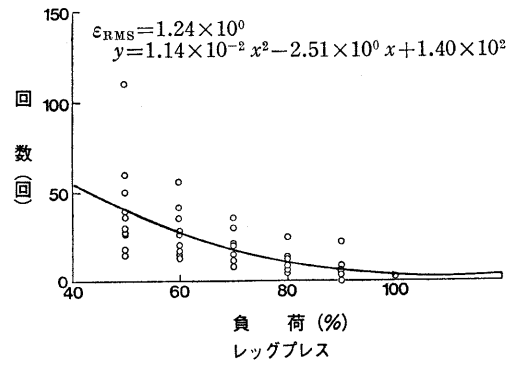
表 1 相関係数 (r)

種 目 名	相対負荷と最大反復回数	相対負荷と所要時間	最大反復回数と所要時間
ミ リ タ リ ー プ レ ス	0.882 (72)***	0.722 (60)***	0.626 (60)***
ア ッ パ ー バ ッ ク	0.952 (72)***	0.702 (60)***	0.698 (60)***
シ ョ ル ダ ー レ イ ズ	0.885 (72)***	0.421 (55)**	0.510 (55)***
シーテッドチェストプレス	0.909 (72)***	0.599 (59)***	0.332 (59)**
ス ク ワ ッ ト	0.932 (72)***	0.686 (50)***	0.737 (50)***
レッグエクステンション	0.949 (72)***	0.390 (60)**	0.257 (60)*
レ ッ グ カ ー ル	0.959 (72)***	0.400 (60)**	0.258 (60)*
レ ッ グ プ レ ス	0.851 (72)***	0.710 (60)***	0.436 (60)***

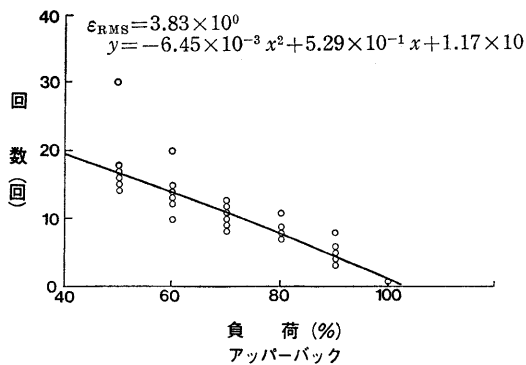
() 内は n 数を示す。*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, ***: $P < 0.001$



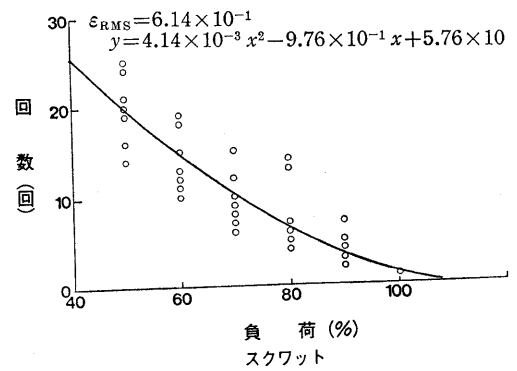
ミリタリープレス



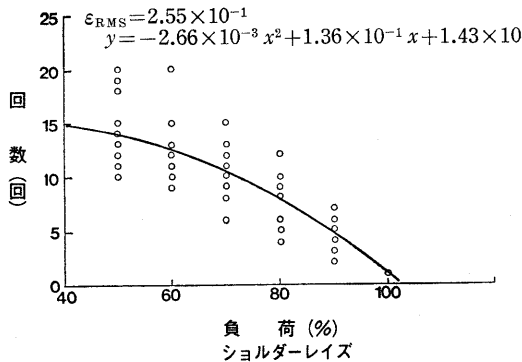
レッグプレス



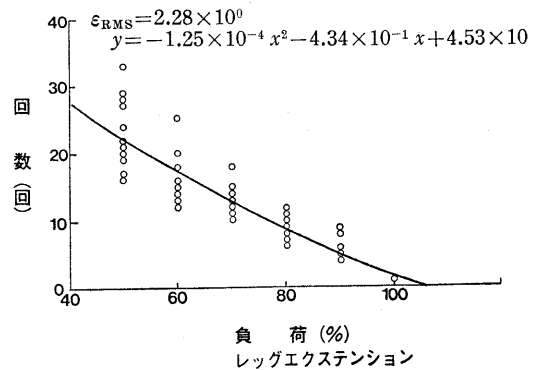
アッパーバック



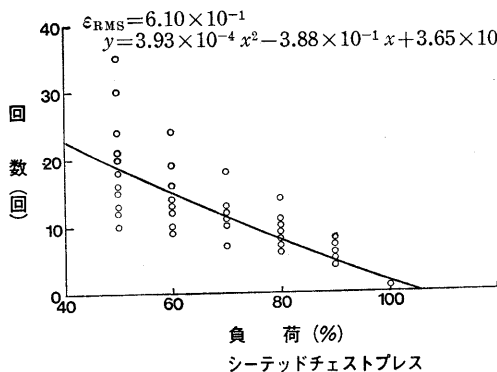
スクワット



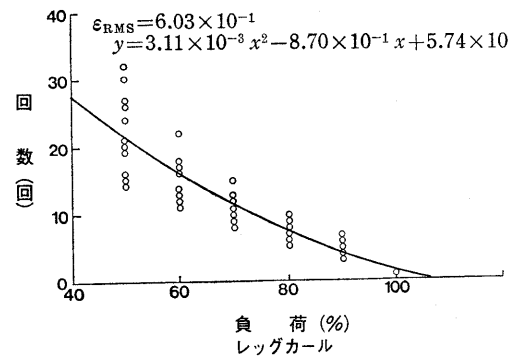
ショルダープレス



レッグエクステンション



シーテッドチェストプレス



レッグカール

図 1 相対負荷と最大反復回数

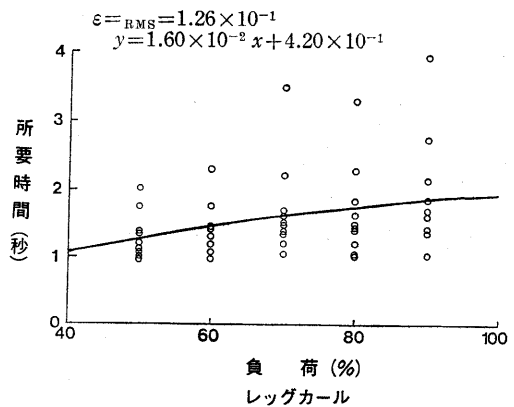
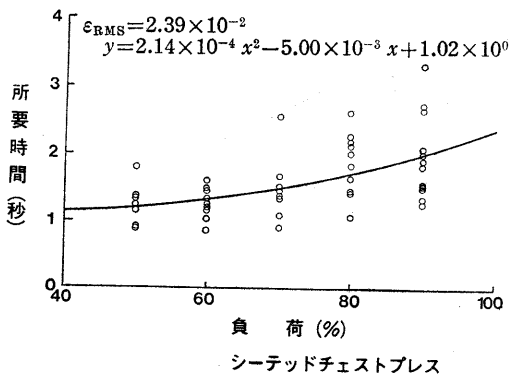
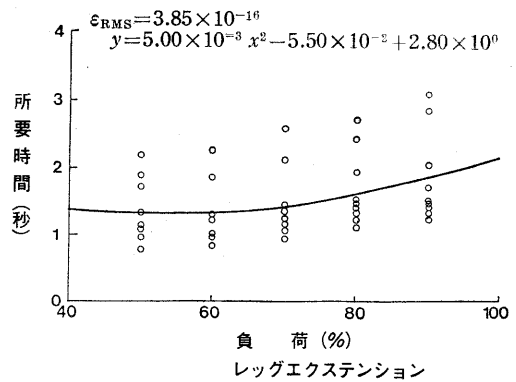
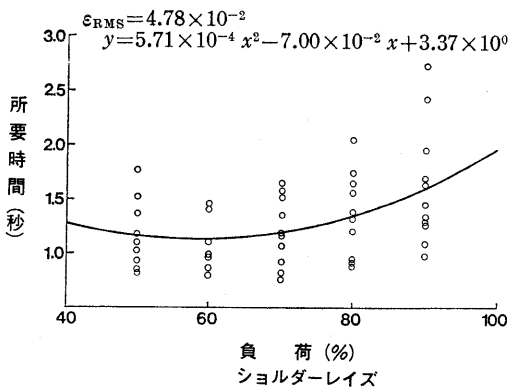
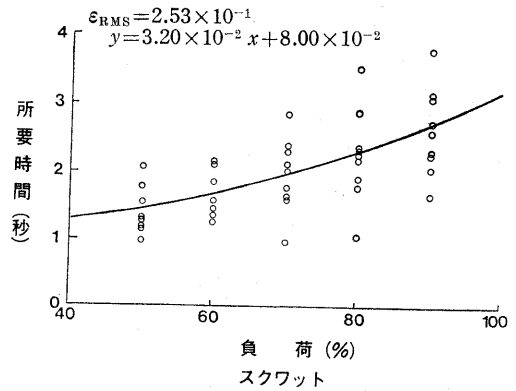
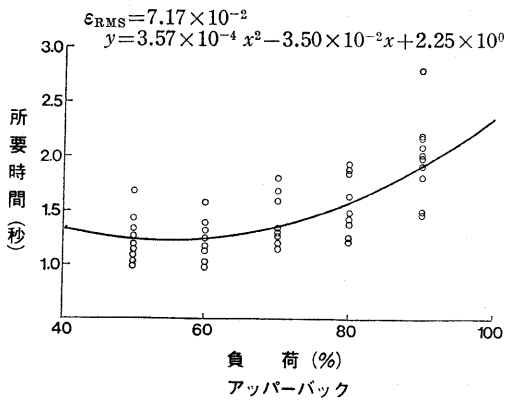
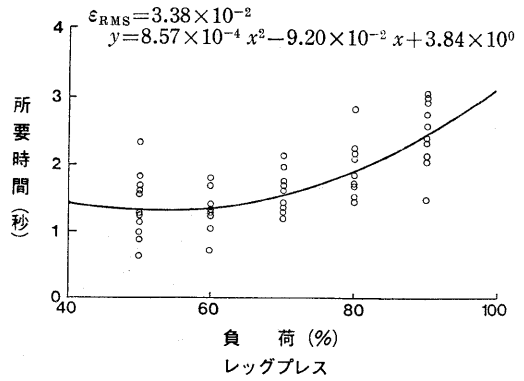
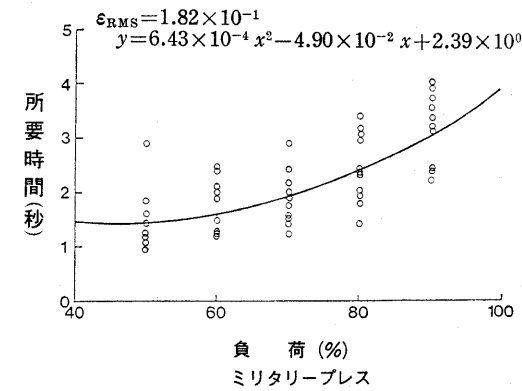


図2 相対負荷と所要時間

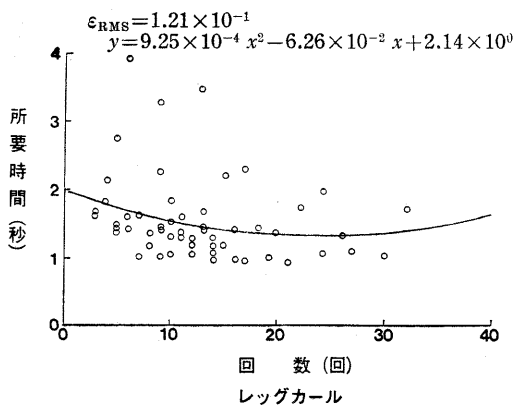
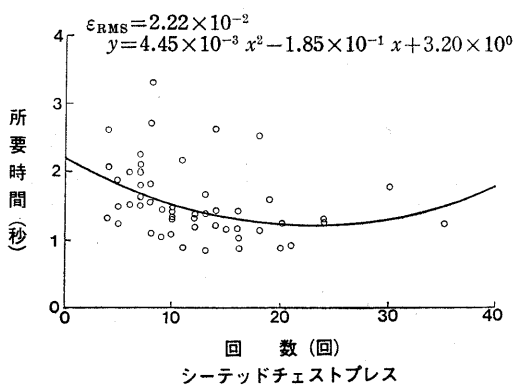
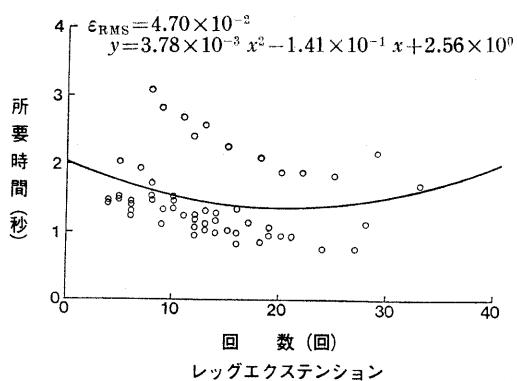
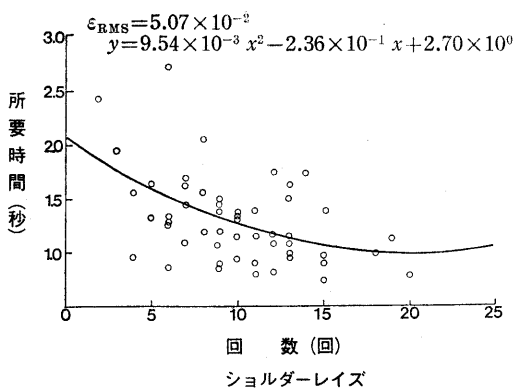
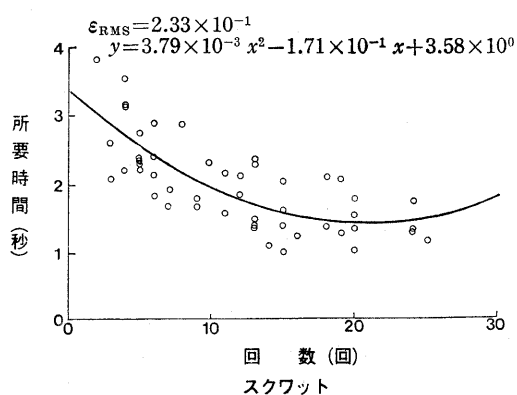
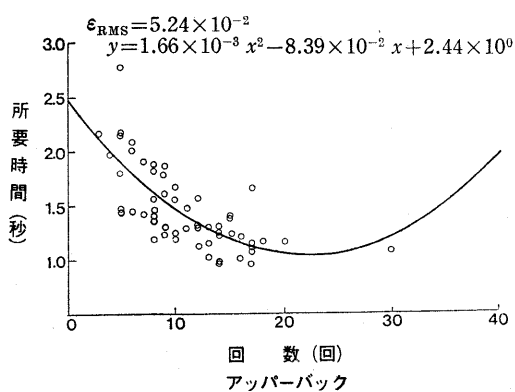
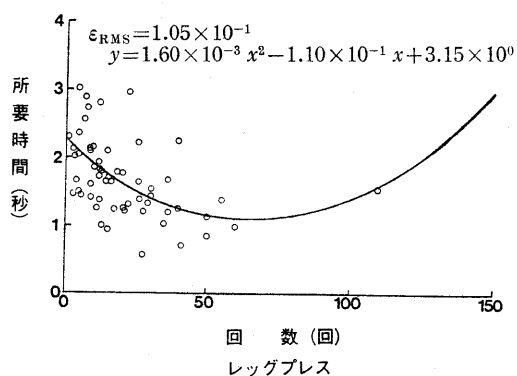
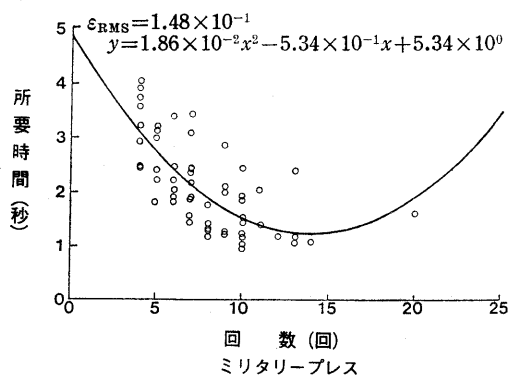


図 3 最大反復回数と所要時間

表 2 極小値における所要時間, 相対負荷強度, 反復回数

種 目	時 間 (sec)	負 荷 (%)	回 数 (回)
ミリタリープレス Military Press	1.4	50	13~15
アッパーバック Seated Machine Lat Rows	1.3	55	20~23
ショルダーレイズ Shoulder Raise	1.1	50~62	18~22
シーテッドチェストプレス Seated Chest Press	1.2	50	20~25
スクワット Squat	1.4	50	20~22
レッグエクステンション Leg Extension	1.3	48~60	18~21
レッグカール Leg Curl	1.3	50	20~25
レッグプレス Leg Press	1.3	50~55	55~70

対負荷と最大反復回数, 相対負荷と所要時間, 最大反復回数と所要時間の 3 つについてそれぞれの関係を図 1, 2, 3. に示した。なお, その際の二乗平均誤差 ϵ_{RMS} (Appendix 参照) が図中に示されている。式は二次回帰方程式を用いて相関係数を求めた。その結果を表 1 に示す。いずれも統計的に有意な相関がみられた。

図 1 は相対負荷と最大反復回数の関係を示す。いずれの種目も高い相関を示したが極小値はみられていない。図 2 に相対負荷と所要時間との関係を示す。ミリタリープレス, アッパーバック, ショルダーレイズ, レッグプレス, レッグエクステンションの 5 種目に極小値の存在がみられた。極小値は相対負荷が 50~60% であり, 所要時間は 1.2~1.4 秒であった。さらに図 3 (最大反復回数と所要時間) では, ミリタリープレス, アッパーバック, ショルダーレイズ, シーテッドチェストプレス, レッグプレス, スクワット, レッグエクステンション, レッグカールの 8 種目全てにおいていずれも極小値がみられた。極小値における反復回数 1 回当りの所要時間は, 1.1~1.4 秒の間であった。さらに極小値の所要時間における最大反復回数は, アッパーバック, ショルダーレイズ, シーテッドチェストプレス, スクワット, レッグエクステンション, レッグカールにおいて 15~18 回の範囲にあった。レッグプレスのみは 55~70 回と値

が大きかった。これを一括して表 2 に示した。

4. 考 察

本研究はウェイト・トレーニングの至適負荷を決定するために, 初心者にも安全な最大下負荷を用いて動的な最大筋力を求めるための資料を得る目的で行ったものである。

本研究においては, 被検者として動的な最大筋力の測定可能な鍛錬者と準備期間を設けて測定可能な状態に訓練した者を対象に, 先ず動的な最大筋力を測定し, 次に最大下負荷を用い被検者が施行しやすいテンポで負荷挙上を実施した。そして相対負荷, 反復回数, 所要時間を取りあげ, これらの間の相互関係について調べた。

猪飼ら²⁾ 及び石河ら³⁾ の研究によると荷重負荷と作業回数との間には一次式的な関係が得られたという。しかし本研究の結果では図 1 に示されるように必ずしも一次の関係はみられなかった。

さらに図 2 の相対負荷と 1 回反復所要時間の関係についてみると, 相対負荷が軽くなるに従って所要時間は漸次短縮していくが, 負荷が 60% より軽くなると逆に延長する傾向がみられる。最大反復回数と 1 回反復所要時間についても (図 3), 全種目にわたり反復回数が多くなるにつれて 1 回反復所要時間は短縮するが, 変曲点を境に反復回数が増えると 1 回反復所要時間の延長傾向がみられた。

極小値 (変曲点) はレッグプレスを除いた各種目で反復回数 15~20 回を過ぎたあたりにみられた。レッグプレスについては極小値は反復回数が他の種目の 2.5 倍のところであった。その理由は運動を座位で行うために脚にかかる自重が除かれることが考えられるが, 宮下, 大道ら⁴⁾ の身体自重を負荷とする際の四肢・下肢作業能比較で, 斜め腕立て伏せと下肢屈伸運動の外的仕事量とでは四肢主働より下肢主働のパワーの発揮能力が 4 倍になるという報告があり, 下肢のスクワット種目は四肢の種目より反復回数が多くなる要因として, 作業能率が高くなることも挙げることができよう。

極小値では 1 回反復所要時間が最も短く, ここで所要時間が短いということは, 作業能率がよいということを示唆している様に考えられる。猪飼ら²⁾ の筋持久力の実験で最大筋力の 1/3, 1/2, 2/3 の各負荷を用いて, 毎分の反復回数を 60 回, 30 回, 20 回, 15 回, 12 回の各々の反復リズムで, 腕エルゴメーターによる筋持久力の測定を行い作業リズムと負荷によって持ち上げ回数がどう変化するか調べた結果によれば, 筋作業能力には至

適作業リズム及び至適負荷があるとのことである。このことから負荷に対して効率のよくなる至適作業リズムが存在し所要時間が短いほどよいと考える。

また宮下⁹⁾は下肢屈伸運動を屈伸速度のみを規制して行った場合、機械的効率⁸⁾は屈伸速度が増すにつれて上昇すると報告している。さらに、宮下⁹⁾は身体自重を負荷とした下肢屈伸運動において、屈伸運動の速度及び深さを個別に規定した場合、エネルギー消費量や機械的効率はピッチと正関係がみられ、屈伸角度よりピッチの方が機械的効率を規定する上での重要因子で、ピッチが速くなるにつれて効率がよくなるといっている。本研究では運動の反復テンポをピッチと考えて自由に反復施行させた時、負荷の重さによって反復所要時間が変わり極小値の存在が認められた。このことはある重さに対して最も効率がよくなる至適速度が存在することを示唆している。

極小値に相当するところでの反復時間の短縮は、筋の力学的模型の一要素である弾性要素⁵⁾に反復動作で必然的に反動動作が生じて、弾性エネルギーが保存され、運動動作に再利用される⁷⁾と解釈することが考えられる。そこで、極小値に相当するところでの反復運動は至適速度、すなわち被検者の施行しやすいテンポであると考えられる。極小値を原点として図の右方にみられる反復回数の増加につれ1回反復所要時間が増す理由については今後の研究を待たなければならない。

極小値(変曲点)は施行回数にして15~20回にあることから動的⁸⁾最大筋力の55%に相当する。このことについて考えてみるとPimental¹⁰⁾は相対負荷60% $\dot{V}_{O_{2max}}$ の運動強度で腕エルゴメーターと自転車エルゴメーターを用いた場合、60分間の運動で血中に乳酸が生じたと報告している。Sawka¹⁰⁾は腕エルゴメーターと自転車エルゴメーターを用いて運動をさせたところ、50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ の運動強度で血中に乳酸が生じたと報告している。Skinner¹¹⁾によるとAnTは65~90% $\dot{V}_{O_{2max}}$ の範囲にあるとのことである。なお、% $\dot{V}_{O_{2max}}$ と%MVCとの関連においてSale¹²⁾は自転車エルゴメーターでペダルを踏む力は60rpmのとき85% $\dot{V}_{O_{2max}}$ は約60%MVCに相当すると報告している。これらのことから考えて本研究で得られた極小値における相対負荷55%(55%MVC)の値はおおよそ先行研究におけるAerTより高く、AnTの生ずる% $\dot{V}_{O_{2max}}$ の値の範囲にあり興味あることがらである。

5. ま と め

ウエイト・トレーニングで負荷を決める際に、簡便でしかも合理的な荷重負荷をみいだすことを最終の目的とし、本研究はそのシリーズの一環として相対負荷に対しての最大反復回数、1回反復所要時間について調べ、その相互関係につき検討し目的に至る一助とした。

13名の体育大学学生について、ウエイト・トレーニング種目として、ミリタリープレス、アッパーバック、ショルダーレイズ、シーテッドチェストプレス、レッグプレス、スクワット、レッグエクステンション、レッグカールの各動的⁸⁾最大筋力を求め、90%、80%、70%、60%、50%の相対負荷で各人の施行しやすい、反復のテンポで行わせ、そのときの各相対負荷と最大反復回数、各相対負荷と所要時間、最大反復回数と所要時間を二次回帰曲線式を用いて近似値を求めた。その結果、最大反復回数と所要時間の関係で全種目に二次回帰曲線を為す関係がみられ極小値の存在がみとめられた。反復回数値を極小値より求めると、レッグプレス種目は55回、他の7種目では15~25回の間に存在する。この極小値は動的⁸⁾最大筋力の値を推定するための施行の上で重要な示唆を与えるものであり、運動の反復テンポが施行しやすい値と考えられる。

Appendix

ϵ_{RMS} (二乗平均誤差) の求め方

2つの変量 x, y について n 個のデータの組 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ があり、 x, y の間に近似的に二次の関数関係、

$$f(x) = y = a_2 x^2 + a_1 x + a_0$$

があるとする。このとき、 $f(x_i)$ と y_i との間には誤差 e_i が生じると考えられる ($i=0, 1, \dots, n$)。そこでこれらの誤差をできるだけ少なくするような a_0, a_1, a_2 の決定法、すなわち

$$Q = \sum_{i=0}^n e_i^2$$

を最小にする a_0, a_1, a_2 を求める方法を二次関数近似による最小二乗法という。具体的には

$$\left(\sum_{i=0}^n x_i^r x_i^0 \right) a_0 + \left(\sum_{i=0}^n x_i^r x_i^1 \right) a_1 + \left(\sum_{i=0}^n x_i^r x_i^2 \right) a_2 = \sum_{i=0}^n f(x_i) x_i^r$$

$$r=0.1.2$$

によってあたえられる連立一次方程式を解くことによって求められる。また、この方法によって求められた近似関数と実際のデータとの誤差を以下の二乗平均誤差 ϵ_{RMS} (root mean square error) によって評価する。

$$\varepsilon_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (y_i - f(x_i))^2}{n+1}}$$

謝 辞

本研究に際して御協力を戴いた日本体育大学自然科学
究研室の北田韶彦博士に記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 金子公有, 伊藤 章, 余田泉樹: 運動処方への負荷
設定法ウェイトを用いたトレーニングにおける強
度処方の簡便法. 体育の科学, **28**: 346-349,
1978.
- 2) 猪飼道夫, 石井喜八, 中村淳子: 血流量からみた
筋持久力Ⅱ—筋持久力の測定—. 体育の科学, **15**
(5): 281-287, 1965.
- 3) 石河利寛: 筋作業の研究Ⅱ —負荷と作業耐久時
間—. 日本生理学雑誌, **41**: 490-493, 1952.
- 4) 宮下充正, 大道 等, 金子 博, 深代千之: 体操
の物理的生理的運動強度—身体自重を負荷とする
上肢・下肢作業能比較—. 体育科学, **9**: 85-93,
1981.
- 5) 宮下充正, 船渡和男, 大道 等: 下肢屈伸運動の
身体運動学的研究 (2) —屈伸速度とエネルギー消
費量—. 体育科学, **10**: 29-34, 1982.
- 6) 木場本弘治, 関口 脩, 山本郁榮, 細谷治朗: ウ
エイト・トレーニング初心者のための負荷簡易推
定法, 日本体育大学スポーツトレーニングセン
ター報告書 **9**: 33-44, 1987.
- 7) Asmussen, E. and F. B. Petersen: Apparent
efficiency and storage of elastic energy in
human muscles during exercise. *Acta Physiol.*
Scand., **92**: 537-545, 1974.
- 8) Cavagna, G. A.: Elastic bounce of the body.
J. Appl. Physiol., **29**: 279-282, 1970.
- 9) Pimental, N. A., M. N. Sawka, D. S. Bil-
lings, and L. A. Trad. Physiological responses
to prolonged upper-body exercise. *Med. Sci.*
Sports Exercise, **16**: 360-365, 1984.
- 10) Sawka, M. N., D. S. Miles, J. S. Petrofsky,
S. W. Wilde, and R. M. Glaser: Ventilation
and acid-base equilibrium for upper body and
lower body exercise. *Aviat. Space Environ.*
Med., **53**(4): 354-359, 1982.
- 11) Skinner, J. S. and T. H. McLellan: The
transition from aerobic to anaerobic meta-
bolism. *Res. Quarterly for Exercise and Sport*,
51: 234-248, 1980.
- 12) Sale, D. G.: Influence of exercise and train-
ing on motor unit activation. *Exercise and*
sport sciences reviews. New York MacMillan
Publishing Company, **15**: 95-151, 1987.